

Préface

Voici un ouvrage pour personnes curieuses et cultivées en ce début de XXI^e siècle. Il nous invite au voyage au cœur de ce nouveau monde du numérique dont on a « découvert » les rivages il y a un peu plus d'un demi-siècle. Ce nouveau monde révolutionne notre vie et son impact va être de plus en plus prégnant sur nos vies et celles des générations futures.

L'informatique est une science jeune qui a progressé de manière exponentielle mais qui a déjà son histoire. Le présent ouvrage n'ambitionne pas de produire une somme exhaustive de connaissances relatives à l'informatique ; les livres existants sont légion ! Il s'agit plutôt, au travers d'une vie professionnelle en constante « synergie » avec le monde de la recherche et de l'innovation en informatique, de présenter une vision personnelle de ce vaste domaine. En tant que grand témoin de cette période, Jean-Loïc Delhaye nous invite à un voyage au gré des progrès qui ont marqué cette époque « révolutionnaire ».

Contrairement à d'autres sciences comme les mathématiques, l'informatique (science du numérique) s'est construite en étroite liaison avec une technologie, celle des « ordinateurs ». C'est ce qui en fait l'originalité mais aussi la difficulté, tellement l'évolution des technologies est fulgurante. Avec le recul qui est le sien, Jean-Loïc Delhaye nous fait découvrir les composants essentiels d'un environnement numérique, des ordinateurs aux réseaux, des systèmes d'exploitation jusqu'aux applications les plus avancées ou les plus populaires.

Le premier chapitre est centré sur le « composant » de base, l'ordinateur. Il nous fait remonter le temps, passant de la machine arithmétique de Pascal à la machine à calculer bien connue, puis aux ordinateurs électroniques classiques (architecture von Neumann), jusqu'aux superordinateurs (qui furent pendant plusieurs années le domaine de prédilection de Jean-Loïc Delhaye). Ce chapitre constitue un concentré

remarquable de plusieurs décennies de progrès ayant conduit aux processeurs et ordinateurs qui nous environnent dans notre quotidien.

L'un des progrès essentiels des années récentes a été l'émergence des réseaux informatiques. En effet, quoi de plus naturel que de permettre à ces différents ordinateurs de communiquer entre eux et de coopérer pour effectuer des tâches de plus en plus complexes ? Le chapitre 2 nous dresse un panorama complet des caractéristiques des divers réseaux et aboutit inévitablement à l'une des grandes inventions de la fin du XX^e siècle : Internet. Là encore, en peu de pages, Jean-Loïc Delhaye réussit à nous faire découvrir ce monde si mystérieux des réseaux informatiques, monde qu'il a côtoyé de très près au cours de sa carrière.

Ces deux premiers chapitres posent le socle matériel sur lequel il est possible de « développer » systèmes et applications en tout genre. Afin de résoudre un problème, il est nécessaire, à partir d'une description précise de ce problème, de construire effectivement la solution. Cette solution, appelée algorithme, prend la forme d'une « suite » de commandes permettant de « transformer » les données en un « résultat ». Cette suite de commandes est, *a priori*, indépendante de toute machine. À des fins d'exécution sur une machine donnée, dans un environnement donné, cet algorithme sera traduit en un logiciel (ou programme) exprimé dans un langage informatique. Le chapitre 3 est entièrement consacré aux logiciels et constitue une excellente synthèse, allant même jusqu'aux questions de protection juridique (sujet sur lequel, là encore, Jean-Loïc Delhaye a acquis une compétence rare pendant ses années passées chez INRIA).

Le chapitre 4 traite d'un autre sujet crucial en informatique, à savoir celui des données, de leur représentation et de leur stockage. Contrairement à l'algorithmique, qui a constitué (et constitue encore) un sujet d'étude tant théorique que pratique, les données ont souvent été négligées. Les structures classiques les plus utilisées étaient les tableaux, les fichiers, les « records » et les valeurs classiques tels les entiers, les réels et les booléens, etc. Puis on s'est aperçu que les données, bien que caractérisées par leurs valeurs, l'étaient également et surtout par les opérations que l'on pouvait leur appliquer, d'où les nombreux travaux sur l'abstraction de données qui ont donné naissance à des concepts tels que les classes et les objets, très présents dans les langages actuels. Dans ce chapitre, Jean-Loïc Delhaye dresse un état des lieux complet sur les données, incluant les bases de données et les « données massives » (Big Data). Ces données massives sont à la base d'une évolution majeure de l'informatique actuelle en permettant de les exploiter « intelligemment » et de mettre en évidence certaines propriétés globales utilisées à des fins diverses ; ce sujet sera abordé au chapitre 7.

Plusieurs sujets sont au cœur des préoccupations des organismes de recherche et de développement à l'heure actuelle ; il s'agit de construire les environnements

permettant de développer les applications de demain. Jean-Loïc Delhaye a mis en exergue quatre « technologies » essentielles qui font l'objet de nombreux travaux à travers le monde : 1) les systèmes embarqués, 2) l'intelligence artificielle, 3) l'Internet de demain, 4) images et vision. Pour chacune, il donne un aperçu de la problématique et dresse un panorama des questions les plus actuelles.

Les technologies clés étant développées, elles constituent les « briques de base » à partir desquelles des applications d'envergure peuvent être mises en œuvre. Dans le chapitre 6, Jean-Loïc Delhaye nous fait voyager rapidement au cœur du monde de demain : robotique, réalité virtuelle, santé, mobilité, énergie, usine du futur, etc. Passionnant, mais aussi spéculatif.

Le chapitre 7 aborde d'ailleurs la question difficile de l'impact sociétal de ces avancées. Les grandes interrogations portent sur la sécurité d'usage de ces technologies, sur le respect de la vie privée, sur l'influence potentielle que peuvent exercer ces nouveaux systèmes (dits d'intelligence artificielle !) sur la liberté du citoyen, allant jusqu'à la mise en cause de la démocratie telle que nous la connaissions. Il aborde également cette question centrale, souvent oubliée de nos élites et technologues, de la fracture numérique. Il suffit de regarder autour de nous ou de voyager un peu pour constater l'ampleur du problème... Jean-Loïc Delhaye aborde ces sujets de façon simple et factuelle afin de susciter la réflexion du lecteur, et termine simplement par la question : « Quel monde voulons-nous ? » Grande question s'il en est !

Pour conclure, à qui s'adresse cet ouvrage qui recouvre l'expérience d'une vie professionnelle ? Aux lecteurs de tous âges désireux de mieux comprendre l'histoire et les avancées de cette science et de cette technologie qu'est l'informatique (on parle maintenant de numérique, de digital). Point besoin de connaissances pointues pour se plonger dans la lecture (pas d'équations, de schémas complexes, etc.), juste du bon sens et de la curiosité ! Je le conseillerais également aux étudiants dans des disciplines autres que l'informatique ; ils découvriront une synthèse intéressante leur permettant de bien percevoir la réalité au travers d'expériences vécues par un vrai informaticien. Je crois que les étudiants en informatique gagneraient également à lire cet ouvrage qui leur donnera, surtout dans les derniers chapitres, une idée des grands domaines d'intérêt portés par l'informatique à l'heure actuelle et les aidera, peut-être, dans leurs choix professionnels futurs !

Jean-Pierre BANÂTRE
Informaticien

Professeur honoraire à l'université de Rennes I

Avant-propos

J'ai découvert l'informatique à la fin d'un cursus universitaire en mathématiques, avec un DEA puis un doctorat de 3^e cycle en 1970 en informatique théorique. Le potentiel de cette science, qui faisait alors son entrée dans l'enseignement supérieur, et des technologies que l'on pouvait déjà apercevoir m'a fasciné et j'ai choisi d'y consacrer ma vie professionnelle. C'est ce que j'ai fait, auprès de chercheurs, d'ingénieurs, d'utilisateurs, et ceci dans des cadres divers : universités et centres de recherche, entreprises (constructeurs d'ordinateurs, opérateurs réseaux, grandes et petites entreprises, administrations), grands centres informatiques au service de la recherche, accompagnant les transformations associées à ces nouvelles technologies.

Quelle aventure !

L'informatique était, à ses débuts, un domaine qui ne concernait qu'un petit nombre de spécialistes, les « informaticiens » appelés par les Anglo-saxons *computer engineers* ou *computer scientists* selon l'orientation principale de leur activité. Elle a évolué d'abord lentement, puis de plus en plus rapidement vers ce « monde numérique » dans lequel vit aujourd'hui une grande partie de notre planète. Il me semble important de comprendre ce nouveau monde, ses bases technologiques, les mobiles de ses principaux acteurs, l'impact sur les individus et sur la société dans son ensemble. C'est le principal objectif de cet ouvrage qui souhaite aborder la globalité de ce phénomène sans rentrer dans le détail de tel ou tel aspect scientifique ou technique, car de nombreux livres consacrés à ces aspects existent déjà.

Le terme « informatique » a été créé en 1962 par Philippe Dreyfus (directeur du Centre national de calcul électronique de la société Bull dans les années 1950, et un pionnier de l'informatique en France). Il viendrait de la contraction des mots « information » et « automatique ».

En 1966, l'informatique a été définie par l'Académie française comme la « science du traitement rationnel, notamment par machines automatiques, de l'information considérée comme le support des connaissances humaines et des communications dans les domaines techniques, économiques et sociaux ».

Pour Gérard Berry, professeur au Collège de France, « le mot informatique désigne la science et la technique du traitement de l'information et, par extension, l'industrie directement dédiée à ces sujets ».

Ce que nous appelons « informatique » modifie nos modes de travail, envahit nos maisons, s'intègre dans les objets les plus quotidiens et nous propose des loisirs inédits. Elle est même à l'origine de nouveaux modes de sociabilité, de nouveaux métiers et d'une nouvelle économie : elle est partout !

Votre smartphone est beaucoup plus qu'un téléphone : appareil photo numérique de grande qualité, accès à des bases de données, GPS intégré, applications en tous genres, etc. Vous communiquez très facilement avec vos proches (et vos moins proches !), par exemple grâce aux réseaux sociaux. Le bon (ou mauvais) fonctionnement de certains équipements de votre appartement ou de votre maison est directement lié à de petits matériels et logiciels : téléviseur, appareils ménagers, contrôle à distance, sécurité, etc. De nombreux dispositifs, dans les voitures modernes, sont liés à l'informatique : combustion, ABS, régulateur de vitesse, assistance à la conduite, GPS, télévision embarquée, etc. La conception complète et détaillée des avions est maintenant basée sur la modélisation et la simulation, jusqu'aux essais en soufflerie qui sont effectués dans des « souffleries numériques ».

Ceci est vrai dans de nombreux autres secteurs industriels. Les créations artistiques utilisent de plus en plus fréquemment l'informatique : cinéma, photographie, musique, peinture, etc. On parle même d'« art numérique » et un artiste créant une œuvre d'art à partir de ses propres logiciels est parfois appelé un algorithme. Tous les domaines de la science évoluent rapidement grâce aux possibilités offertes par l'informatique : médecine, météorologie et climatologie, astronomie, biologie, physique, chimie, géologie, mathématiques, sciences sociales, économie, architecture, etc.

Cette « numérisation » présente parfois des problèmes (dysfonctionnement, *bug*) voire même des risques (vol de vos données, *phishing*, attaques massives de la part de *hackers*, etc.). Sans oublier la destruction d'emplois qui ne sera sans doute pas compensée par la création de nouveaux emplois.

On peut représenter les piliers de l'informatique par la figure ci-après.

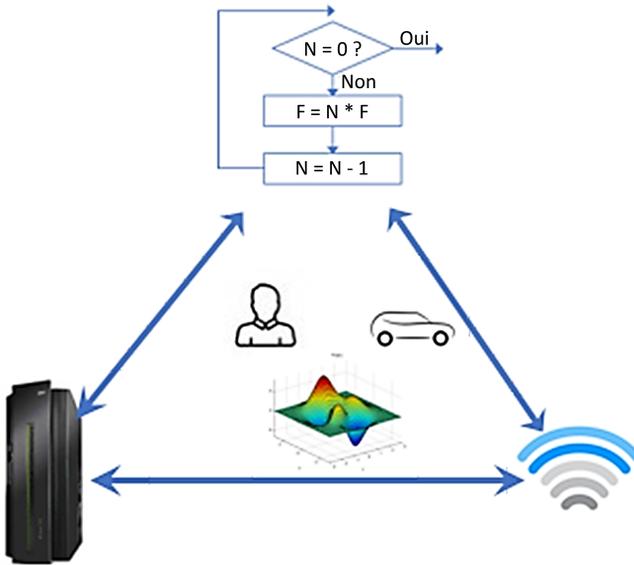


Figure. *Piliers de l'informatique*

Ces trois piliers sont :

- le **matériel informatique** (*hardware* en anglais) : c'est un ensemble d'équipements assurant le traitement des informations. Les matériels, en particulier les processeurs, ont profondément évolué depuis le « premier ordinateur » ;
- les **moyens de communication** : ils permettent de construire des réseaux (*networks*) sur des infrastructures diverses (fils, ondes radio, etc.) ;
- les **logiciels** (*software*), sans quoi rien ne fonctionnerait. Un logiciel contient des suites d'instructions qui décrivent en détail ce que l'on demande à l'ordinateur de faire. Ceci va des systèmes d'exploitation aux programmes applicatifs et aux interfaces avec les utilisateurs.

Au milieu de ces trois piliers qui sont au cœur de nombreux domaines scientifiques et techniques, on trouve tout ce que nous utilisons plus ou moins consciemment dans notre vie quotidienne et qui dépend étroitement de l'informatique.

Cet ouvrage retrace rapidement l'histoire de ces trois piliers, décrit les principales technologies qui y sont associées et aborde l'impact de l'informatique aujourd'hui à travers quelques domaines d'applications, sans oublier l'impact sociétal. Il est divisé en sept chapitres.

Le [premier chapitre](#) aborde quelques concepts importants avant de retracer l'histoire des matériels, depuis les premiers automates, les premières tentatives d'automatisation des calculs, jusqu'aux ordinateurs actuels avec leur diversité et leurs architectures. Il se termine par des questions sur le futur, tant dans les technologies que dans les enjeux environnementaux.

Les réseaux de communication jouent un rôle essentiel dans l'utilisation des ordinateurs. Le [chapitre 2](#) présente leurs infrastructures et protocoles, avec un regard particulier sur Internet, quelques applications avec un focus sur le Web. J'aborde également un aspect important : la vulnérabilité des réseaux et la nécessité de les protéger contre des attaques malveillantes.

Le [chapitre 3](#) est consacré au logiciel, traduction d'un algorithme, et aux langages de programmation, avec les deux niveaux que sont les systèmes d'exploitation et les applications. Les principales méthodes de développement et de validation des logiciels sont abordées, ainsi que les modes de diffusion qui sont associés à des « licences ».

Les ordinateurs traitent des données, les réseaux les transportent. Représentation et organisation des différents types de données, de la « donnée de base » isolée jusqu'aux fichiers aux bases de données et aux Big Data qui permettent de créer de la connaissance, voire de l'intelligence : ce sera l'objet du [chapitre 4](#).

J'ai choisi quatre « bases technologiques » qui permettent de construire les services dont nous disposons aujourd'hui et qui modifient profondément notre vie quotidienne : les systèmes embarqués ou « enfouis » dans des milliards de dispositifs, l'intelligence artificielle qui est trop souvent un argument de vente, Internet qui permet de faire communiquer sans limite spatiale les personnes comme les ordinateurs eux-mêmes, et enfin le traitement d'image et la vision. Voilà les grandes parties du [chapitre 5](#).

Les domaines d'utilisation de l'informatique et des réseaux sont innombrables, mais j'en ai retenu sept pour le [chapitre 6](#) : les robots que l'on peut voir dans les usines ou maintenant dans une maison, la réalité virtuelle et la réalité augmentée qui permettent de s'immerger et d'interagir dans des mondes virtuels, l'informatique au service des personnels médicaux et de notre santé, la voiture connectée qui sera peut-être bientôt autonome, la ville futée ou *smart city*, la mobilité intelligente et enfin l'usine du futur ou usine 4.0.

Le [chapitre 7](#) prend un peu de distance avec les technologies de l'information et de la communication pour aborder certaines des questions que leur présence massive dans tous les secteurs de nos vies me semble poser à la société : les menaces de nombreux types et la lutte contre la cybercriminalité, la protection des données

personnelles et de la vie privée, l'influence de ces technologies sur la vie de la société, les dangers pour la démocratie avec la montée en puissance des grandes entreprises que l'on appelle les GAFAs, la fracture numérique – car une large part de la planète (y compris en France) est exclue de ce monde numérique –, les risques d'un dévoiement de l'intelligence artificielle, la création d'une caste « d'hommes bioniques » équipés de prothèses développant leurs pouvoirs, et enfin la doctrine encore naissante de l'homme immortel et du transhumanisme.

Pour conclure, la question que nous devons nous poser est : « Quelle société voulons-nous ? » Aucune des « révolutions » que nos sociétés ont connues, comme l'écriture, l'imprimerie, l'industrie, n'a eu un impact aussi grand sur nos vies et sur celle de la société en général. On peut être passionné par ces « nouvelles technologies », et je le suis depuis qu'elles sont au centre de ma vie professionnelle, mais il faut garder la maîtrise de leur développement et surtout de leurs utilisations pour éviter, si c'est encore possible, qu'elles soient au service de groupes cherchant à dominer le monde.

Je vous souhaite un bon voyage dans ce monde fascinant.